

光ファイバー・フォトダイオード型蛍光量計の試作

著者	片倉 剛, 大石 幹雄, 石川 英子
雑誌名	東北大学医療技術短期大学部紀要 = Bulletin of College of Medical Sciences, Tohoku University
巻	6
号	2
ページ	81-88
発行年	1997-09-01
URL	http://hdl.handle.net/10097/33640

光ファイバー・フォトダイオード型蛍光量計の試作

片倉 剛, 大石 幹雄, 石川 英子

東北大学医療技術短期大学部 診療放射線技術学科

Development of a Fluorescence Meter Using Optical-Fibers and a Photodiode

Tsuyoshi KATAKURA, Mikio OISHI and Eiko ISHIKAWA

Department of Radiological Technology, college of Medical sciences, Tohoku University

Key words : Fluorescence meter, Radiographic sensitometry, Quality control of diagnostic imaging

A fluorescence meter is very useful for quality control of diagnostic imaging. It is used to detect changes in the X-ray equipment or to measure the characteristics of the screen film systems.

The fluorescence values (F-value) of the conventional meter are not equivalent to radiographic exposure condition, because the photomultiplier tube of this meter can detect only the fluorescence from the front side screen.

In this study, we have proposed a new fluorescence meter which is possible to detect fluorescences from the both side of the front and back, because the optical fibers are inserted into about 300 μm -thin gaps between a film and each of the two screens.

The core of the fluorescence meter consists of the screen detector, optical fibers, a photodiode, a current-voltage converter module and an integrating circuit.

With the new meter, we have measured F-values as a function of the X-ray tube voltage for three different equipments, also the grid factor for the radiographic exposure factors.

はじめに

蛍光量計は X 線装置の管理^{1)~4)}や X 線写真の撮影条件の分析などの測定器^{5)~8)}として広く使用されている。X 線写真の撮像原理は両面乳剤のフィルムの前後面を蛍光紙で密着して X 線像を露光するものであり、前後面蛍光量の感光への影響は非常に複雑である。しかし、従来の蛍光量計は前面の蛍光量を光電子増倍管で検出するもので実際の感光状態とは異なる。

われわれは、アクリルファイバーを増感紙の間に挟み両面からの蛍光をフォトダイオードに導光

する蛍光量計を試作した。アクリルファイバーはクロスオーバー効果を含めて検出するために、2 分してフィルムの両側に配置した。

また、LED 発光変調器を製作して接続し、蛍光波形測定部の周波数特性を測定した。さらに、管電圧 kV に対する蛍光量の n 値を整流方式および増感紙の種類について測定した。

I. 方 法

1. 装置の構成

図 1 は本測定器の構成を示すブロック図である。構成は主として検出部、アクリル導光部、フォ

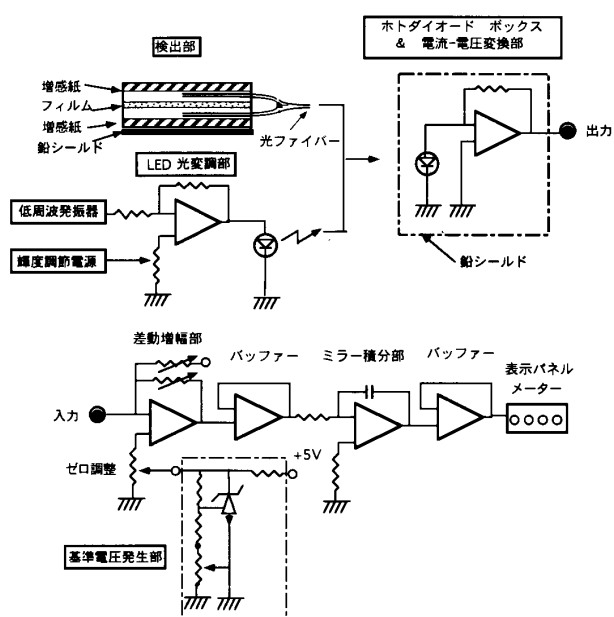


図1. 装置の構成

トダイオード、電流-電圧変換部、蛍光積分部、表示部より成る。差動増幅部のオフセット調整部には可変型安定化電源を付加し、微調整ができるようにした。

図2は本装置の外観と増感紙検出部、導光ファイバー、フォトダイオードボックスの実体を示す。

2. 検出部

増感紙 (コニカ: KO-380, 化成オプトニクス: LT-II) 間にフィルムを挿入し、太さ $230\ \mu\text{m}$ 、長さ $50\ \text{cm}$ のアクリルファイバーを 250 本を 2 群に分けて増感紙の前、後面に平行に並べた。他端は束ねて、 $5\ \text{mm}$ 角のフォトダイオード (浜松ホト

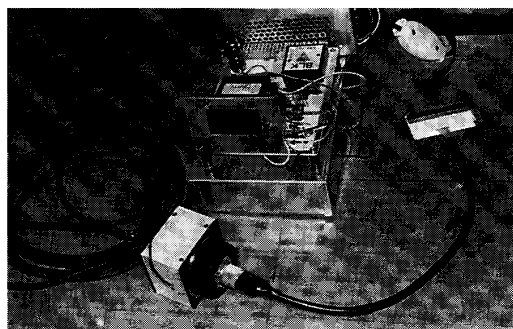


図2. 装置の外観

ニクス: S1337-66QB) を封入した光検出ボックス (光研工業: DH-310) に蛍光を導入した。この微小な光電流はボックス内の電流-電圧変換部に直結している。変換部の増幅には $100\ \text{M}\Omega$ の負帰還抵抗が使用されている。この抵抗には $33\ \text{pF}$ のコンデンサーが並列に接続されていたが、周波数応答が劣化するので除いて使用した。また、後方散乱を避けるため増感紙の裏面とフォトダイオードボックスには $1\ \text{mm}$ の鉛板を貼った。

3. 計測部

フォトダイオードボックスからの出力電圧は $5\ \text{m}$ の同軸ケーブルで計測部に接続される。この計測部は図1に示すように、先ず差動増幅回路によりゼロ調整と感度調整が行われる。この差動増幅には市販のモジュール (光研工業: KDA-107) を使用した。この出力はバッファ回路を経て積分回路に接続される。この積分値は 4 桁のデジタルメータで表示される。

電源部は $\pm 15\ \text{V}$ 、および $5\ \text{V}$ の出力を必要とする。オフセット用の微小電源のために基準電圧素子を使用した電源を製作して付加した。

4. 入出力特性

測定器の入出力特性を測定するために、測定器をレール台に載せ、距離 $40\sim 320\ \text{cm}$ の範囲で $\Delta \log E = 0.15$ 間隔で位置を変化して同一曝射を

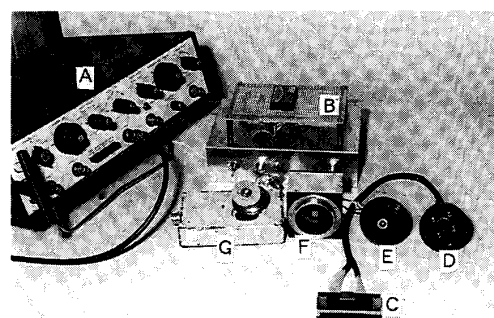


図3. 周波数測定構成

A: 低周波発振器, B: 変調器, C: 両面増感紙検出部, D: ファイバー出光部, E: フォトダイオード用 LED 発光部, F: フォトダイオードボックス, G: ホトマル用 LED 発光部

行い、各点での蛍光量を求めた。

5. 周波数特性の測定

図3はLED発光変調器の構成を示す。差動増幅モジュールに低周波発振器と可変直流電源を接続し変調率を変化させた。この出力部にLEDを接続し、このLEDはニコンレンズキャップに収納して、ダイオードボックスに、ファイバーキャップと交換して接続し、フォトダイオード部からの出力信号をオシロスコープで測定した。

また、三相装置の蛍光波形を試作器と従来器(アルコ：F-11，以下，片面増感紙検出方式を従来型とする)で記録，比較した。

6. 管電圧のn値の測定

X線の写真効果は管電圧のn乗に比例しn値は3～5とされている。このn値を測定するために40kV～110kVまで管電圧を変化させて蛍光量の値を測定した。管電圧Vと蛍光量Fの関係は

$$F = K \cdot V^n \dots\dots\dots (1)$$

$$\log F = n \cdot \log V + k \dots\dots\dots (2)$$

ただし，Kは定数で $k = \log K$ とする

であり，両対数をとって勾配を求めるとn値が求められる。ただし，(2)は直線にはならないので2次式で近似し，さらに微分して勾配を求めた。これを単相，三相，インバータ装置で比較した。また，タングステン酸カルシウム増感紙と希土類増感紙でも比較した。

7. アクリルおよびグリッドによる減弱特性

アクリル厚を1～10cmにして蛍光量の変化を求め，さらにアクリル5cmに6:1，8:1，12:1の

グリッドを使用した場合の減弱率を測定して露光倍率を求めた。

II. 結 果

1. 周波数特性の測定

LEDに加える直流電圧と発振器出力を調整し出力波形が歪まないようにした。図4はそれぞれ1kHz，5.7kHz，7kHzの波形であり出力が減衰している状態を示す。図5はこれらの波形をプロットした周波数特性である。2kHz付近から減衰がみられ，ほぼ4.5kHzで-3dbとなっている。

図6は三相装置の試作器と従来型との蛍光波形を示し，図7はその投入部の拡大波形である。この波形ではかなりの高域ひずみ波形も追跡が可能であり，両者ともに実用的には問題がないと思われる。

2. 入出力特性

図8は入出力特性を示し $\log E = 2$ の範囲ではほぼ完全な直線性を示していた。

3. 管電圧のn値の測定

希土類増感紙について，管電圧を40kV～100kVまで10kV間隔での蛍光量を求めた。表1は検出器にタングステン酸カルシウム増感紙を使用した場合の各管電圧に対する単相，三相及びインバータ装置の蛍光量の変化を示す。

また，図9はこれらの関係を両対数値のグラフであり，測定点は左から10kV間隔で示されている。グラフの微分式は次式のとおりである。

$$\text{単相: } f(x) = -7.6x + 17$$

$$\text{三相: } f(x) = -0.68x + 3.2$$

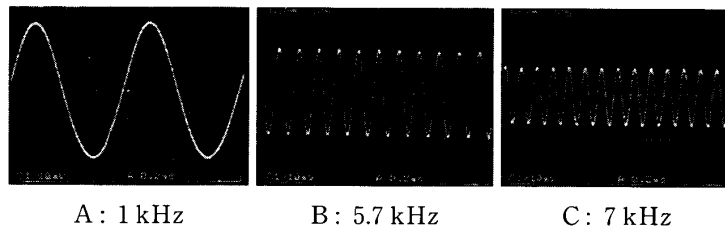


図4. フォトダイオード部の出力波形

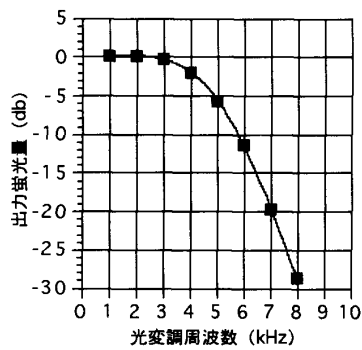


図5. フォトダイオード部の周波数特性

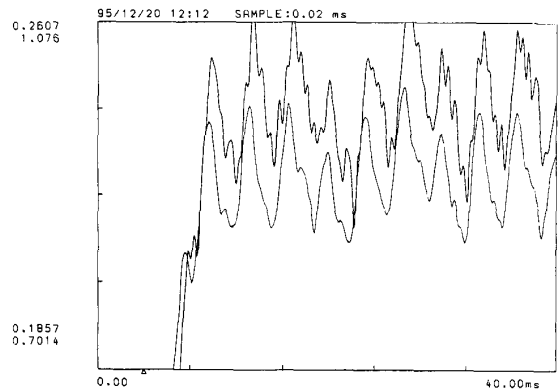


図7. 投入部の蛍光波形

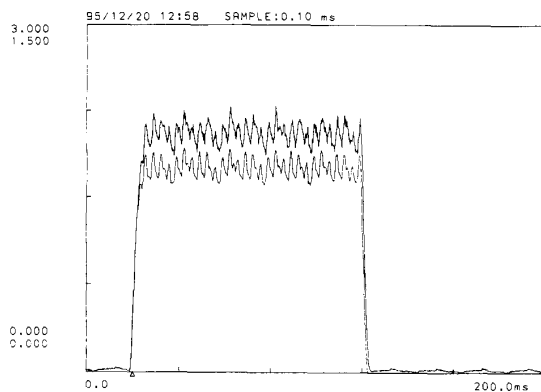


図6. 三相装置の蛍光波形
(上: 本法, 下: 従来型)

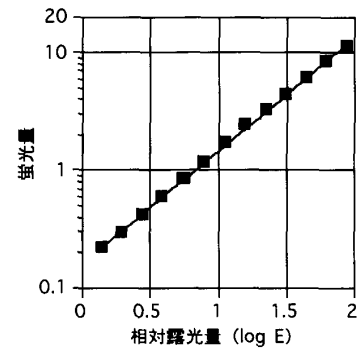


図8. 入出力特性 (距離法)

インバータ: $f(x) = -4x + 10$

表2は検出部に希土類増感紙を使用した場合の管電圧と蛍光量を示し, 図10はこれらの関係を両対数値のグラフであり, 微分式は次式のとおりで

ある。

単相: $f(x) = -5.2x + 13$

三相: $f(x) = -1.76x + 5.5$

インバータ: $f(x) = -3.8x + 10$

表3は従来型の蛍光量計を使用した場合の管電

表1. 管電圧と蛍光量 (タングステン酸カルシウム増感紙)

管電圧		単相		三相		インバータ		単相との倍率	
kV	log (kV)	蛍光量 (F)	log (F)	蛍光量 (F)	log (F)	蛍光量 (F)	log (F)	三相	インバータ
40	1.60	0.02	-1.72	0.10	-1.00	0.04	-1.37	5.2	2.3
50	1.70	0.05	-1.32	0.15	-0.82	0.10	-1.00	3.1	2.1
60	1.78	0.10	-1.00	0.24	-0.62	0.16	-0.80	2.4	1.6
70	1.85	0.15	-0.82	0.29	-0.54	0.25	-0.60	1.9	1.7
80	1.90	0.20	-0.70	0.40	-0.40	0.34	-0.47	2.0	1.7
90	1.95	0.26	-0.59	0.50	-0.30	0.44	-0.36	1.9	1.7
100	2.00	0.32	-0.49	0.58	-0.24	0.56	-0.25	1.8	1.8
110	2.04	0.38	-0.42	0.72	-0.14	0.68	-0.17	1.9	1.8

光ファイバー蛍光量計

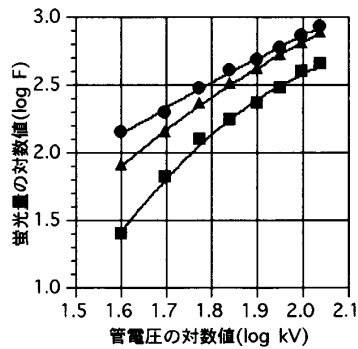


図9. 管電圧と蛍光量の n 値
(タングステン酸カルシウム増感紙)

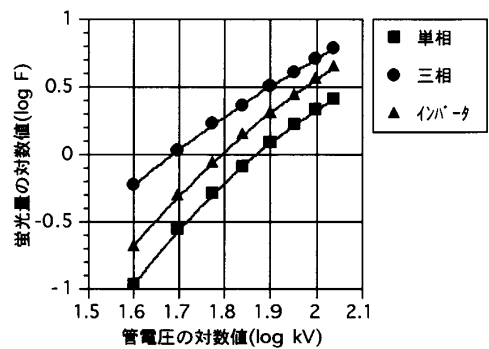


図10. 管電圧と蛍光量の n 値
(希土類増感紙)

表2. 管電圧と蛍光量 (希土類増感紙)

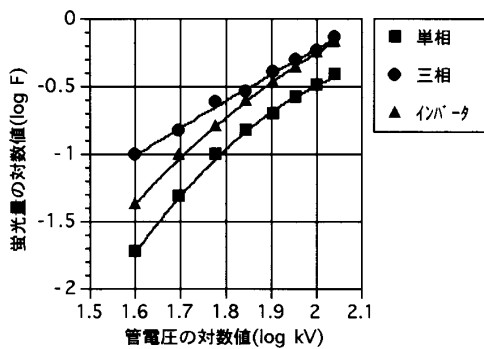
管 電 圧		単 相		三 相		インバータ		単相との倍率	
kV	log (kV)	蛍光量 (F)	log (F)	蛍光量 (F)	log (F)	蛍光量 (F)	log (F)	三 相	インバータ
40	1.60	0.11	-0.96	0.59	-0.23	0.21	-0.68	5.6	2.0
50	1.70	0.27	-0.56	1.06	0.02	0.49	-0.31	3.9	1.8
60	1.78	0.51	-0.29	1.68	0.23	0.86	-0.06	3.3	1.7
70	1.85	0.81	-0.09	2.32	0.36	1.41	0.15	2.9	1.7
80	1.90	1.21	0.08	3.19	0.50	2.02	0.30	2.6	1.7
90	1.95	1.65	0.22	4.07	0.61	2.76	0.44	2.5	1.7
100	2.00	2.11	0.32	5.05	0.70	3.61	0.56	2.4	1.7
110	2.04	2.58	0.41	6.08	0.78	4.44	0.65	2.4	1.7

表3. 管電圧と蛍光量 (従来型蛍光量計)

管 電 圧		単 相		三 相		インバータ		単相との倍率	
kV	log (kV)	蛍光量 (F)	log (F)	蛍光量 (F)	log (F)	蛍光量 (F)	log (F)	三 相	インバータ
40	1.60	25	1.40	140	2.15	80	1.90	5.60	3.2
50	1.70	65	1.81	200	2.30	140	2.15	3.10	2.2
60	1.78	125	2.10	300	2.48	230	2.36	2.40	1.8
70	1.85	175	2.24	400	2.60	320	2.51	2.30	1.8
80	1.90	230	2.36	490	2.69	420	2.62	2.10	1.8
90	1.95	295	2.47	600	2.78	520	2.72	2.00	1.8
100	2.00	390	2.59	730	2.86	640	2.81	1.90	1.6
110	2.04	450	2.65	850	2.93	760	2.88	1.90	1.7

表 4. 管電圧と蛍光量の n 値

管電圧	タングステン酸 カルシウム増感紙			希土類増感紙			従来型蛍光量計		
	単 相	三 相	インバータ	単 相	三 相	インバータ	単 相	三 相	インバータ
50	4.1	2.0	3.2	4.2	2.5	3.5	3.8	1.9	2.5
100	1.8	1.8	2.0	2.6	2.0	2.4	1.8	1.7	1.7

図 11. 管電圧と蛍光量の n 値
(従来型蛍光量計)

圧と蛍光量を示し、図 11 はこれらの関係を両対数値のグラフであり、微分式は次式のとおりである。

単相: $f(x) = -6.6x + 15$

三相: $f(x) = -0.58x + 2.9$

インバータ: $f(x) = -2.6x + 6.9$

表 4 は各条件での n 値を示す。一般には n 値は 2 以上と考えられるが、2 以下の n 値が高電圧で認められた。

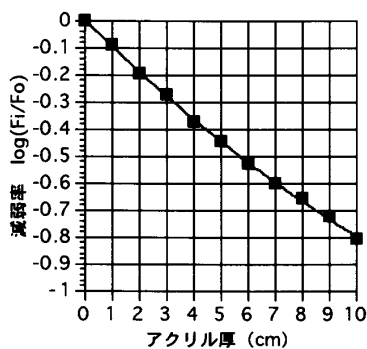


図 12. アクリル厚に対する減弱特性

表 5. グリッドの露出倍数

本法蛍光量計 (タングステン酸カルシウム型)

グリッドの種類	なし	6:1	8:1	12:1
蛍 光 量	0.230	0.085	0.078	0.063
露出倍率	1	2.7	2.9	3.7

従来型蛍光量計

グリッドの種類	なし	6:1	8:1	12:1
蛍 光 量	3.7	1.3	1.1	0.9
露出倍率	1	2.8	3.4	4.1

4. アクリルおよびグリッドの減弱特性

図 12 はアクリル厚 0~10 cm に対する蛍光量の減弱を示す。半価層は 3 cm であり 1/4 価層は 7 cm であった。

表 5 は異なるグリッド比に対する蛍光量の減弱を示し、グリッドを使用すると、おおよそ 1/3 に減弱するが、6:1 のグリッドを基準にすれば、12:1 では 40% の減少であった。

III. 考 察

1. 動作特性

1) ファイバーの前後分割

今回はクロスオーバーを含めた実際の状態の検出器を作るため、ファイバーを 2 分して増感紙の前後面に挿入して、さらに中間にフィルムを配置した。しかし、従来型の蛍光量計との差は明瞭ではなかった、ただし、低管電圧で露光比率に差があり、フィルムでの実測が必要である。

2) 鉛シールド

今回の実験の途中で、検出増感紙部の後方散乱

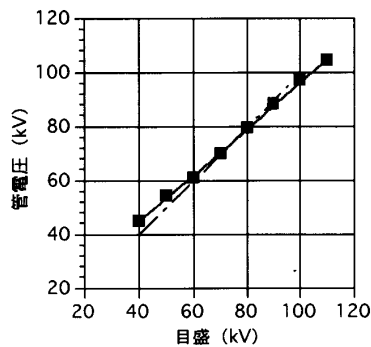


図 13. 三相装置の管電圧

とダイオード自体の散乱線への感受性が大きいことが分かった。このために測定実験をやり直したが、シールド効果の定量を行うことは時間的にできなかった。今後シールド法について充分検討する必要がある。

3) 積分回路

積分回路は入力信号がないときも前段までの増幅部の微小なオフセット電圧を自然充電するので 0 調整が重要である(図 1, 差動増幅部)。しかし、手動調整では調整が大変なので自動化が必要である。例えば、自動トリガーやピークホールドの適用を検討する必要がある。

4) 入出力特性

図 8 のように良好な直線性(相関係数: 99.9)を示している。この測定では積分誤差も含んでいるので総合動作は良好と思われる。

5) 周波数特性

周波数特性は図 4 のように 1 kHz 付近から減衰しているが、これは入力 LED 特性、フォトダイオード特性、初段電流増幅回路が考えられるが、初段増幅回路の負帰還の抵抗が 100 MΩ と大きいので、浮遊容量の影響が大きいものとする⁹⁾。

2. 管電圧特性

試作器および従来型ともに三相装置の n 値が低い特性を示していた。これは管電圧が低圧で上昇しているものと予想して、管電圧を実測した。図 13 は指示値と実測値の関係を示し、80 kV を中心に勾配が低下していた。すなわち、40 kV では 45 kV を示し、110 kV では 103 kV となっていた。

また、インバータ装置と三相装置とはほぼ同じ X 線出力になるはずであるが、三相装置の方が高い蛍光量を示していた。今回の一例では 40 kV の三相とインバータでは従来型で 1.5 倍、試作器の希土類増感紙では 3 倍になっていた。このためアルミ段階で 3 倍露光のフィルム実写をしたところほぼ同一濃度が得られた。両面システムの本法では従来型よりも高電圧で後面の増感紙の発光量が増し高い n 値を示すものと予想したが、10% 程度の上昇であった。また、タングステン酸カルシウム増感紙と希土類増感紙との比較でもフォトダイオードのスペクトル特性が異なり、フィルムの感色性をも考慮する必要がある。したがって、今後も両面増感紙での系統的な測定実験を行い、最終的にはフィルムによる実写で確認する必要があると考える。

IV. 結 論

- 1) 測定器の入出力特性の直線性は良好であるが、積分回路の工夫が必要である。
- 2) 周波数応答は 5 kHz 程度であるが、初段増幅部の検討が必要である。
- 3) 鉛シールドは非常に重要であるが、逆に後方散乱の影響の分析にも役立つものとする。
- 4) 管電圧の n 値の測定は装置の管電圧をあらかじめ測定する必要がある。
- 5) 本法の蛍光量計は自作が可能で安価で安定性がよく、X 線検査装置の管理測定器に適している。

文 献

- 1) Joel, E.G., Norline, T.W., Johon, S., Engene, D.F.: Quality control in diagnostic imaging, University Park Press, Baltimore, 1983, p. 7-17
- 2) 青柳泰司: 診断用 X 線装置, コロナ社, 東京, 1984, p. 56-57
- 3) 青柳泰司: X 線装置とその計測技術について, 日放技学誌, **44**, 689-690, 1988
- 4) 小田叙弘, 山下幸隆, 村上誠一, 中野 努, 中野秀一朗: 蛍光量計を用いた I.I. 輝度測定法, 日放技学誌, **47**, 1925-1929, 1991
- 5) 岡田弘治, 若松孝司: 非相称システムの MTF, 日

放技学誌, **48**, 640-642, 1992

- 6) 鈴木優二郎, 青木雄二: 非対称システムにおける増感紙構成の一考察, 日放技学誌, **48**, 1151, 1992
- 7) 大橋利弘, 中沢靖夫, 加藤京一, 笹村伸二, 秋山真之, 神田幸助, 菱田豊彦, 大橋利弘: 蛍光量計を用いたセンシトメトリー法, 日放技学誌, **43**, 960-961, 1987
- 8) 山下一也, 山本義憲, 栗井一夫, 大竹英則, 岡田

弘治, 田中俊夫, 西島昭彦, 山口和也: 増感紙フィルムのセンシトメトリーについて, 日放技学誌, **40**, 59-78, 1984

- 9) 小山 稔: 発光ダイオードの電氣的・光学的な特性, 西沢潤一, スタンレー技術研究所編, 発光ダイオードとその応用, 産業図書, 東京, 1988, p. 74-78